

Timo Kautzmann, Micaela Wünsche, Maurice Bliesener, Sanaz Mostaghim, Marcus Geimer und Hartmut Schmeck

# Selbstadaptierendes und lernfähiges Management für mobile Arbeitsmaschinen

Steuerungen in mobilen Arbeitsmaschinen regeln heute anhand vorgegebener Strukturen eine oder mehrere Zielwerte auf Basis der Vorgabe des Maschinenführers, wobei Störgrößen nur indirekt berücksichtigt werden. Der vorliegende Artikel erläutert diesen Sachverhalt näher und gibt ein Verständnis ganzheitlicher Optimierung. Darauf aufbauend wird das interdisziplinäre, DFG-geförderte Projekt OCOM (Organic Computing in Off-highway Machines) vorgestellt, in dem eine alternative Steuerungsarchitektur untersucht wird. Dadurch ist es möglich, eine selbst-adaptierende und lernfähige Betriebsstrategie (Realisierung einer Zielfunktion) in einer mobilen Arbeitsmaschine umzusetzen, um diese ganzheitlich zu optimieren.

## Schlüsselwörter

Maschinenmanagement, organic computing, lernfähig, generische Architektur, Optimierung, Kraftstoffverbrauch

self-adaptive and self-learning operating strategy (realization of a target function) in mobile machines is given, to optimize the machine holistically.

## Keywords

Machine-management, organic computing, self-learning, generic architecture, optimization, fuel consumption

## Abstract

Kautzmann, Timo; Wünsche, Micaela; Bliesener, Maurice; Mostaghim, Sanaz; Geimer, Marcus and Schmeck, Hartmut

## Self-adaptive and self-learning management for mobile machines

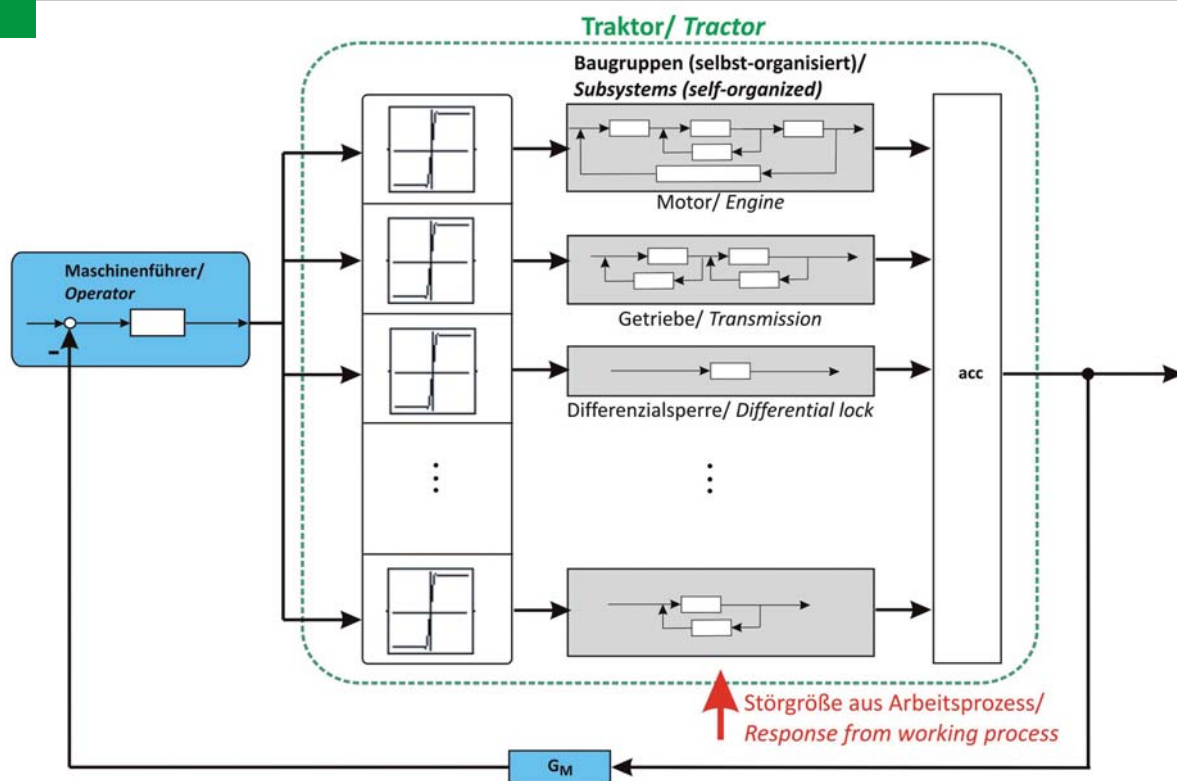
Landtechnik 65 (2010), no. 3, pp. xxx-xxx, 2 figures, 6 references

Control systems in mobile machines are designed on the basis of predefined configurations to control target values according to an operator's reference, whereas disturbance variables are considered indirectly. In this article this issue will be defined more distinctly and a notion of holistic optimization will be given. According to that, an alternative control-architecture in an interdisciplinary DFG-promoted project called OCOM (Organic Computing in Off-highway Machines) will be presented. Due to this, the possibility of a basis for a

■ Entwicklungen im Bereich der mobilen Arbeitsmaschinen, wie z. B. die wachsende elektro- hydraulische Ansteuerung und das stufenlose Getriebe, haben zu einer wachsenden Zahl an Freiheitsgraden in solchen Systemen geführt. Diese können vom Maschinenführer nicht mehr selbst eingestellt werden, weshalb ihn ein automatisiertes Gesamtmaschinenmanagement (GMM) unterstützen muss. Ein GMM ist die Summe von Hard- und Software zur Umsetzung einer Betriebsstrategie. Der Aufbau heutiger GMM ist in **Abbildung 1** dargestellt. Der Maschinenführer macht dabei die wesentlichen Vorgaben, die umgerechnet, mittels statischer und für bestimmte Fälle optimierter Kennlinien oder -felder als Führungsgrößen für die einzelnen Baugruppen dienen. Die Einstellung der Führungsgrößen erfolgt dabei in vielen Fällen unabhängig von denen anderer Baugruppen, wie z. B. bei Differenzialsperre oder Allradkupplung. In den einzelnen Baugruppen werden die Führungsgrößen individuell eingeregelt, ohne dabei auf die Wechselwirkung untereinander Rücksicht zu nehmen. Der Ausgang der einzelnen Baugruppen wird schließlich zum gesamten Arbeitsergebnis akkumuliert, vom Maschinenführer gemessen ( $G_M$ ) und nach seinen Zielvorgaben geregelt.

Aufgrund dieses Verhaltens sind heutige Managementsysteme nicht fähig, die Maschine ganzheitlich zu optimieren. Ganzheitliche Optimierung wird in diesem Kontext folgendermaßen verstanden:

Abb. 1



Konventionelles Gesamtmaschinenmanagement  
 Fig. 1: Conventional machine management

■ Ganzheitliche Optimierung bezieht weitere Einflüsse ein. Diese beinhalten sowohl die Vorgaben des Fahrers als auch den gerade ausgeführten Arbeitsprozess. Des Weiteren führt eine mobile Arbeitsmaschine, wie beispielsweise ein Traktor, eine Vielzahl unterschiedlichster Aufgaben aus. Eine einheitliche a priori Parametrisierung kann nicht in jedem Fall zu einem optimalen Ergebnis führen. So müssen heutzutage Kompromisse eingegangen werden, insbesondere wenn man die unterschiedlichen Bedingungen z. B. beim schweren Pflügen und bei leichten Pflegearbeiten berücksichtigt. Eine ganzheitliche Optimierung sollte diese Sachverhalte, die im Folgenden als äußere Einflüsse bezeichnet werden, berücksichtigen und in der Lage sein, sich an die unterschiedlichen Gegebenheiten anzupassen.

■ Da es sich bei mobilen Arbeitsmaschinen um komplexe und stark vernetzte Einheiten handelt, darf sich eine ganzheitliche Optimierung nicht auf einzelne Teilsysteme beschränken, sondern muss das System als Ganzes betrachten. Änderungen in einer Einheit können Auswirkungen auf das gesamte System haben, die nur aus einer übergeordneten und das Gesamtsystem betrachtenden Perspektive erkennbar sind. Derzeit ist das Erfassen und Analysieren dieser Zusammenhänge nicht möglich.

Im Folgenden wird eine generische Architektur vorgestellt, die in der Lage ist, eine ganzheitliche Optimierung nach den oben genannten Kriterien durchzuführen. Die Architektur wird an die speziellen Anforderungen angepasst und einer funktionsfähigen

Maschine überlagert. Aufgrund der Vielzahl unterschiedlicher Einflüsse auf eine mobile Arbeitsmaschine ist eine a priori Einstellung optimierter Parameter nicht zielführend. Deshalb muss die Architektur lernfähig sein und soll selbst sukzessive optimale Einstellungen in der gegenwärtigen Situation finden.

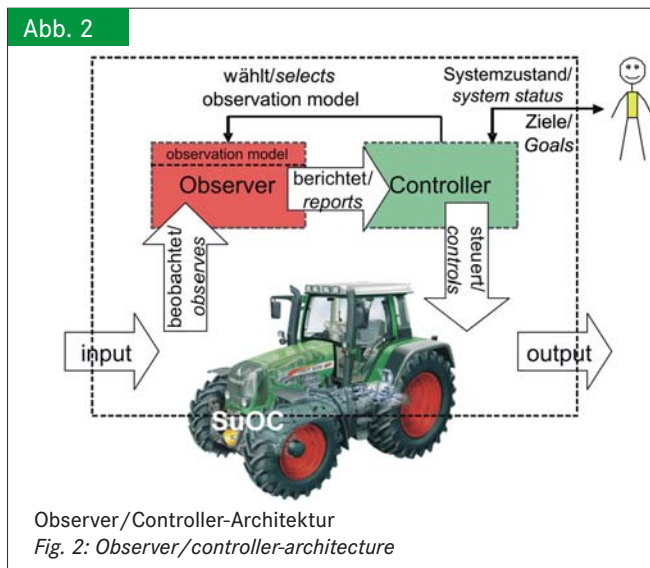
Obwohl die Architektur allgemein auf mobile Arbeitsmaschinen übertragbar ist, wird in diesem Fall exemplarisch ein Fendt Vario 412 der Firma AGCO GmbH als Versuchsfahrzeug herangezogen. Ziel ist es, den Kraftstoffverbrauch zu minimieren, wenngleich andere Ziele ebenso verfolgt werden können. Eine vorausgehende Veröffentlichung in diesem Gebiet ist [1].

### Ausgangssituation und neue Lösung

Systeme, die wie oben beschrieben aus individuell angesteuerten und geregelten Baugruppen bestehen, die untereinander kooperieren, um selbstständig ein gesetztes Ziel zu erreichen, werden auch als selbst-organisiert bezeichnet. Eine Architektur, die geeignet ist, solche Systeme zu beherrschen und effizient zu betreiben, ist die Observer/Controller (O/C)-Architektur, die im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms 1183 OC „Organic Computing“ entwickelt wurde [2; 3].

Das zu optimierende System, in diesem Fall ein Traktor, wird gemäß **Abbildung 2** als „System under Observation and Control“ (SuOC) bezeichnet. Das SuOC ist selbstständig in der Lage, die vorgesehenen Funktionen auszuführen, jedoch nicht immer mit optimaler Effizienz. Ziel der O/C-Architektur ist es, das SuOC in seiner Gesamtheit zu überwachen und bei Bedarf zu optimieren. Um die aktuell zu verfolgende Zielfunktion der

Abb. 2



Optimierung vorgeben zu können, wird eine Schnittstelle für einen übergeordneten Bediener zur Verfügung gestellt (goals), der spezifische Vorgaben machen kann.

Im Einzelnen werden im SuOC Systemdaten gemessen, die den Zustand des Traktors, bezogen auf die Zielfunktion, systemübergreifend erfassen. Der Observer empfängt und analysiert diese Informationen. Zu dieser Analyse gehören beispielsweise die Erkennung des gegenwärtig gefahrenen Zyklus durch verschiedene statistische Werte oder Hauptkomponentenanalyse, sowie die Vorhersage möglicher folgender Systemzustände in einem Predictor-Modul. Alle Informationen werden zusammengetragen und dem Controller übermittelt. Dieser weist anhand der gesammelten Beobachtungen Handlungsanweisungen in Form eines Regelsets für das SuOC zu.

Wie bereits erwähnt, soll die Architektur den Kraftstoffverbrauch minimieren. Daher ist es zweckmäßig, dass der Controller auf alle für den Leistungsfluss durch die Maschine wesentlichen und manipulierbaren Parameter zugreifen kann. Diese sind im Einzelnen:

- Drehzahl Kurbelwelle
- Übersetzungsverhältnis Getriebe
- Fahrzeuggeschwindigkeit
- Differenzialsperre
- Allradkupplung
- Volumenstrom Arbeitshydraulik

Einfluss auf das Motorsteuergerät sowie die Hilfs- und Nebenaggregate soll dabei zunächst nicht genommen werden. Sicherheitskritische Eingriffe sollen dem Fahrer als Empfehlung auf dem Display angezeigt werden.

Der Controller besitzt lernfähige Algorithmen, dadurch werden die Handlungsanweisungen mit der Zeit besser. Der Lernprozess vollzieht sich dabei sowohl online als auch offline. Im Verfahren des online-Lernens werden anhand der gesammelten Erfahrungen aus vergangenen Parameter-Einstellungen und daraus resultierenden Folgezuständen des SuOC die vom Controller getroffenen Entscheidungen bewertet und daraus Konsequenzen gezogen. Hatte eine Entscheidung positive Fol-

gen, wird sie als gut beurteilt, hatte sie negative Folgen, wird die entsprechende Handlungsdirektive modifiziert. Beim offline-Lernen wird in ähnlicher Weise aus Erfahrungen gelernt, allerdings werden Direktiven nicht online an der realen Maschine auf ihre Auswirkungen hin geprüft, sondern simulativ an einem Modell, das im Controller integriert ist. Diese Art des Lernens wird verwendet, um neue Parametereinstellungen prüfen zu können, bevor sie am realen System zum Einsatz kommen und dort unter Umständen zu Sicherheitsproblemen oder einer gravierenden Verschlechterung der Effizienz führen können. Der Controller generiert hierfür selbstständig neue Regeln für beobachtete Situationen und testet diese anhand des Modells. Falls sie zu einem besseren als dem aktuellen Ergebnis führen, werden die neuen Einstellungen in das Regelset übernommen.

### Aktuelle Arbeiten und erste Ergebnisse

Derzeitige Arbeiten am Lehrstuhl für Mobile Arbeitsmaschinen (MOBIMA) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) konzentrieren sich auf die Erstellung eines quasistatischen und wirkungsgradbehafteten Traktormodells in der Simulationsumgebung MATLAB/Simulink und AMESim. AMESim ist ein leistungsflussorientiertes und topologiebasiertes Simulationsprogramm der Firma LMS Imagine.Lab. MATLAB/Simulink wurde als Plattform zur Umsetzung der O/C-Architektur gewählt, daher dient, wie beschrieben, das Modell in Simulink dem Controller zum offline-Lernen. Mit dem AMESim-Modell soll hingegen in einem ersten Schritt der Traktor als SuOC simuliert werden, welches sowohl dem Observer eine einfache Möglichkeit bietet, Simulationsdaten bereitzustellen, als auch dem Controller Einfluss gewährt. Als Input dienen dem Modell die DLG-PowerMix Zyklen [4], die mit der Einteilung in acht verschiedene Klassen die Hauptarbeitszyklen eines Standardtraktors überspannen. Die Kommunikation mittels AMESim und Matlab/Simulink geschieht über eine sogenannte S-Function. Ergebnis dieser „Model in the Loop“ (MIL)-Simulation ist die Validierung der Architektur und das Schreiben einer Anforderungsliste hinsichtlich Kommunikationsaufbau mit dem Traktor im zweiten Schritt des Projekts.

Seitens des Institutes für Angewandte Informatik und Formale Beschreibungsverfahren (AIFB) am KIT, welches sich mit den informationstechnischen Fragestellungen beschäftigt, liegt der Fokus derzeit auf der Realisierung des Observers und dabei insbesondere auf der Zyklerkennung. Erste Ergebnisse zeigen, dass isoliert gefahrene Zyklen unterschieden und einzeln zugeordnet werden können. In einem nächsten Schritt werden die vom SuOC kommenden Daten gefenstert und den vorhandenen Zyklen zugeordnet. Zukünftige Arbeiten fokussieren hier auf eine Verbesserung, um bei mindestens gleich bleibender Trefferwahrscheinlichkeit kürzere Fenster zu erreichen.

### Schlussfolgerungen

Die beschriebene Architektur besitzt die Fähigkeit einer Betrachtung des Systems „mobile Arbeitsmaschine“ als Ganzes und die Bereitstellung einer lernfähigen Betriebsstrategie. Zu-

sammengenommen bedeutet dies das sukzessive Annähern an den optimalen Betriebspunkt sowohl unter unvorhergesehenen Bedingungen und wechselnden Einflüssen als auch unabhängig von Fahrer und Arbeitszyklus. Wie sich auf der Agritechnica 2009 in Hannover zeigte [5], ist herstellerunabhängig ein Trend in Richtung verbessertem Bedienkomfort festzustellen. Hier bietet das beschriebene System die Möglichkeit, den Fahrer zu entlasten und dadurch die Bedienung zu erleichtern.

Im Projekt OCOM wird, wie bereits erwähnt, exemplarisch der Kraftstoffverbrauch optimiert. Welches Potenzial dabei eine ganzheitliche Betrachtung hat, wird in [6] simulativ gezeigt. Dabei sind durchschnittliche Einsparpotenziale von 5-25 % im Vergleich zu existierenden Maschinenmanagement-Systemen erreichbar. In bestimmten Fällen können diese sogar bis zu 30 % betragen.

#### Literatur

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] [Kautzmann, T.; Wünsche, M.; Geimer, M. and Schmeck, H.: Self-optimizing Machine Management. 2<sup>nd</sup> International Conference on Machine Control & Guidance. Schriftenreihe Institut für Geodäsie und Geoinformation 16 (2010), H. 2, S. 107-115
- [2] Schmeck, H.: Organic Computing - A New Vision for Distributed Embedded Systems. Proceedings to Eighth IEEE International Symposium on Object-Oriented Real-Time Distributed Computing, 2005, pp. 201-203 <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/tocresult.jsp?isnumber=30704>; Zugriff am 18.03.2010
- [3] Richter, U.; Mnif, M.; Branke, J.; Müller-Schloer, C. and Schmeck, H.: Towards a generic observer/controller architecture for Organic Computing. In: C. Hochberger und R. Liskowsky: Informatik 2006 – Informatik für Menschen. Köllen Verlag, Bonn, 2006, S. 112-119
- [4] Degrell, O. und T. Feuerstein: DLG-PowerMix™. [http://www.dlg-test.de/powermix/PowerMix\\_Teil\\_1.pdf](http://www.dlg-test.de/powermix/PowerMix_Teil_1.pdf); Zugriff am 18.03.2010
- [5] Kautzmann, T.; R. Weidemann und M. Geimer: Agritechnica 2009 – Neuerungen begeistern trotz schwieriger Zeiten. [http://bk.wai.de/magazines/unlisted/VFMZ/Mobile\\_Maschinen](http://bk.wai.de/magazines/unlisted/VFMZ/Mobile_Maschinen); Zugriff am 01.04.2010
- [6] ● Schreiber, M.: Kraftstoffverbrauch beim Einsatz von Ackerschleppern im besonderen Hinblick auf CO<sub>2</sub>-Emissionen. Dissertation. Universität Hohenheim, 2006. Shaker Verlag, Aachen, 2006

#### Autoren

**Dipl.-Ing. Timo Kautzmann** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Mobile Arbeitsmaschinen (MOBIMA) des Instituts für Fahrzeugsystemtechnik (FAST) im Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Gotthard-Franz-Straße 8, 76131 Karlsruhe, E-Mail: [timo.kautzmann@kit.edu](mailto:timo.kautzmann@kit.edu)

**Dipl.-Inform. Micaela Wünsche** ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Angewandte Informatik und formale Beschreibungsverfahren (AIFB) im Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Kaiserstraße 89, 76133 Karlsruhe, E-Mail: [micaela.wuensche@kit.edu](mailto:micaela.wuensche@kit.edu)

**Dipl. Wi.-Ing. Maurice Bliesener** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Mobile Arbeitsmaschinen (MOBIMA) des Instituts für Fahrzeugsystemtechnik (FAST) im Karlsruher Institut für Technologie (KIT), E-Mail: [maurice.bliesener@kit.edu](mailto:maurice.bliesener@kit.edu)

**Dr.-Ing. Sanaz Mostaghim** ist wissenschaftliche Assistentin am Institut für Angewandte Informatik und formale Beschreibungsverfahren (AIFB) im Karlsruher Institut für Technologie (KIT), E-Mail: [sanaz.mostaghim@kit.edu](mailto:sanaz.mostaghim@kit.edu)

**Prof. Dr.-Ing. Marcus Geimer** ist Leiter des Lehrstuhls für Mobile Arbeitsmaschinen (MOBIMA) des Instituts für Fahrzeugsystemtechnik (FAST) im Karlsruher Institut für Technologie (KIT), E-Mail: [marcus.geimer@kit.edu](mailto:marcus.geimer@kit.edu)

**Prof. Dr. Hartmut Schmeck** ist Leiter des Instituts für Angewandte Informatik und formale Beschreibungsverfahren (AIFB) im Karlsruher Institut für Technologie (KIT), E-Mail: [hartmut.schmeck@kit.edu](mailto:hartmut.schmeck@kit.edu)

#### Danksagung

Die Autoren danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die finanzielle Unterstützung und der Firma AGCO Fendt für deren Unterstützung bei der Durchführung des Projekts.